

ロランAシステムの評価-I

衛星航法システムとの比較によるレート2L1, 2L2の精度について

吉村 浩・中根 重勝

Evaluation of the Loran-A System-I

On the Accuracy of Rate 2L1, 2L2 as compared with the Navy
Navigation Satellite System

Hiroshi YOSHIMURA and Shigekatsu NAKANE

Heretofore the evaluation of the Loran-A system has been carried out generally based on the astronomically observed position. At present, navigational receivers for the Navy navigation satellite system (NNSS) are installed in many ships and serve to give highly accurate ship positions.

The authors evaluated the Loran-A system based on the measurements of relative positional error which is defined as the difference between the position fixed by the NNSS and the one by the Loran-A system (Rate 2L1, 2L2). The data were collected during the cruise of T. S. Kakuyo-Maru in the South Western Pacific Ocean in 1977.

The accuracy of these rates is decided by the distance from Master station, and its mean displacement was less than 1.0 nautical mile and the route mean square was $\pm 0.5 \sim \pm 1.8$. In the night-time, the probability density within 450 nautical miles was slightly inferior to the other reports, but it was superior to the one by astronomically observed position.

従来ロランAシステムの評価は主として、天測位置と比較することによってなされている。衛星航法システム（以下 NNSS という）が民間に開放されて以来、現在までに多くの船舶に利用され、その精度について多くの報告があり、陸上定点では400MHz帯1波のみの受信装置でも昼間0.3浬、夜間0.1浬程度であると云われている（1, 2）。航走中でも、かなり安定した高精度の位置が得られる（3, 4）ことから、両システムによる測位間の相対誤差を求め、ロランAシステム（レート2L1, 2L2）による測位の精度について検討した。

測定方法

測定は本学部練習船鶴洋丸の練習航海中の昭和52年10月7日から17日までの間、西カロリン諸島の南方海域で、主として夜間の漂泊中に行った。使用受信機は、

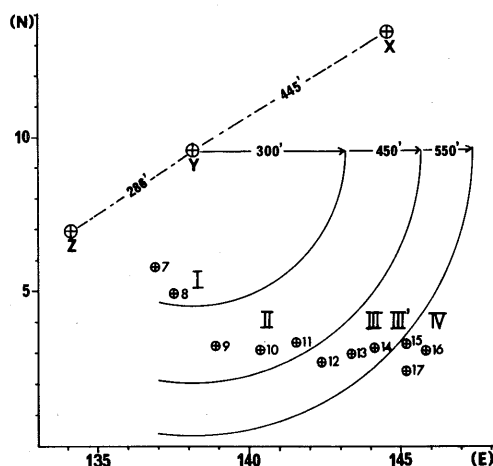


Fig. 1. Related positions of the loran stations and ship's track.
Y : master station
X, Z : slave station

Table 1. Number of data and related elements with mean position, loran station and line of position.

Section	Date	Number of data	Distance from each station (N M)			Included angle (°)		Cross angle (°)	Dist. /100 μ s. (N M)	
			X	Y	Z	2L1	2L2		2L1	2L2
I	7-8	18	650	260	210	75	30	52	13	30
II	9-11	30	670	410	430	40	40	40	25	25
III	12-14	34	640	510	600	28	44	36	35	22
IV	15-17	29	640	590	720	22	42	31	40	22
III'	12-14 (Day time)	17	640	510	600	28	44	36	35	22

NNSS：光電製作所製(SOM-168, 400MHz 1波受信用) 1台

Loran：光電製作製(LR-747, A/C受信機) 2台である。

測定海域と主、従局との関係位置はFig. 1のとおりで、⊕印で示す位置は毎日の測定時間帯における平均位置である。測定海域を、ロランA地表波の伝搬範囲をもとにして、主局(Y)からの距離によってI～IV海域に区分した。I, IIおよびIVでは夜間の測定のみであるが、IIIでは昼間も測定可能であったので、それをIII'として区分した。各海域における各レートの両局をのぞむ夾角, 両 LOP の交角および時間差100 μ sec に対応する LOP の間隔を Table 1 に示す。

鶴洋丸はこの期間、操業実習中で、6時頃から16時頃まで魚群探索のため航走するが、その後翌朝まで漂流することの繰返しであった。12日から14日までは海

況が悪く、終日漂流をしていた。航走中の速力誤差および針路誤差がNNSSの測位精度におよぼす影響については、理論的には解明されているが(5)、実際の航走中には両誤差の測定は困難なので、その影響を最小限にとどめるために、陸上定点に近い状態、すなわち漂流中におけるデータのみを用いた。NNSSの受信時刻を完全に予測することは出来ないから、毎時0分にロランAの測定を行った。その時刻におけるNNSSの測位々置は、その前後の位置から補間して求め、両者間の距離を算出して相対誤差とした。尚、補間の際NNSSの位置をそれぞれプロットすると、その軌跡はほぼ一直線となり、短時間内の船の流れる方向と速度はほぼ一定と考えられる。従って隣接測位から前後又は左右方向に大きくずれたものはNNSSの測位精度が低いとして除いた。また、流向流速は長時間一定とは考えられないので、NNSSの測位間隔が長い場合も除去し、両側位時間隔が約1時間以内のデータのみを使用した。例として10月9日のデータをTable 2に示し、そのうちNNSSの測位位置をプロットしたものがFig. 2である。

ロラン位置はロラン・テーブルの表値と測得時間差などにより算出した(6)。これらの計算はすべて鶴洋丸の電算機YHP-S-310によった。得られたデータの総数は145個で、昼間17個、夜間118個であったが、夜

Table 2. An example of measured data (9th of Oct.).

Time (GMT)	NNSS Position		LORAN-A Reading (μ sec)	
	Lat.	Long.	2L1	2L2
0700			2638	5728
0800			2641	5723
0802	03° 12.4'N	138° 54.3'E		
0900			2643	5722
1000			2648	5720
1026	03° 11.3'N	138° 56.7'E		
1100			2651	5720
1456	03° 09.4'N	139° 00.6'E		
1500			2653	5766
1640	03° 08.5'N	139° 02.2'E		
1756	03° 07.9'N	139° 03.4'E		
1822	03° 07.8'N	139° 03.6'E		
1900			2670	5684
1936	03° 07.2'N	139° 04.4'E		
2008	03° 07.1'N	139° 04.8'E		
2030			2670	5677

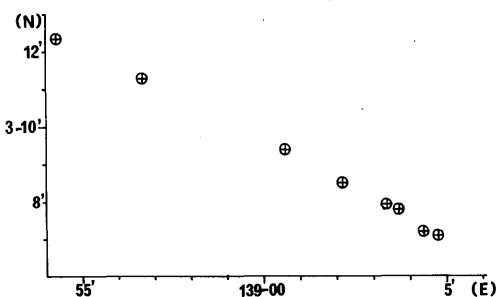


Fig. 2. An example of plotted positions by NNSS (9th of Oct.).

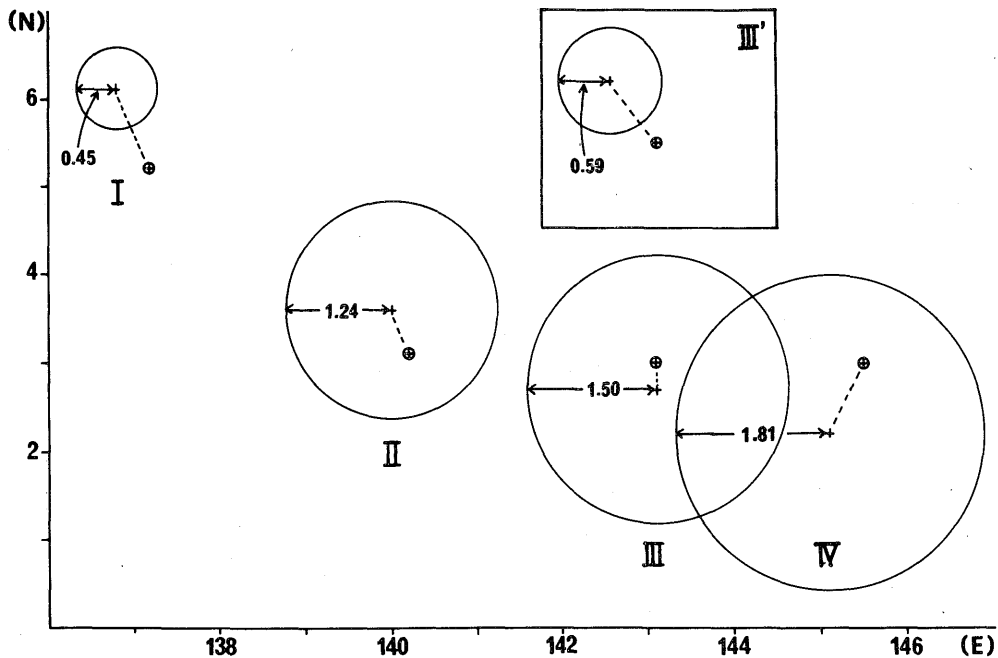


Fig. 3. Mean position and 50 % radial error in each section.

⊕ : mean position by the NNSS

+ : mean position by the Loran-A

間データのうちから3 σ 法により7個を棄却し、111個を使用した。

結果および考察

海域別の相対誤差を変緯、東西距および距離であらわし、各々の平均値と標準偏差 (RMS) を Table 3 に示す。それらを図示したものが Fig. 3 である。変緯は Y 局から遠ざかるにつれて北から南へ変化するが、その幅は $\pm 1.0'$ 以下である。東西距は全海域ともほぼ $0.2 \sim 0.4'$ 西偏となっている。しかし距離の RMS は各海域とも X 局よりは 600 呎以上であるが、Y、Z 局からの距離が増加するにつれて増大し、300 呎を越すと $\pm 1.0'$ 以上となる。

各測点の相対誤差を LOP の交角と $1 \mu\text{sec}$ 当りの

Table 3. Relative error and RMS.

Section	D. Lat	Dep.	Dist.	RMS
I	0.909	-0.391	0.989	0.45
II	0.562	-0.235	0.609	1.24
III	-0.301	0.030	0.302	1.50
IV	-0.802	-0.356	0.877	1.81
III'	0.698	-0.554	0.891	0.59

間隔 (dw) より 2 L 1, 2 L 2 に分け μsec に換算したもの ($d\mu$) と、それに対応する距離 (dz) の平均値および RMS を Table 4, Fig. 4 で示す。 $d\mu$ は 2 L 1 では海域 I, II と III, IV で符号が反転し $+1 \sim 2 \mu\text{sec}$ となり、Y 局からの距離により変化するものと考えられるが、2 L 2 ではその様な系統的な変化はみられない。

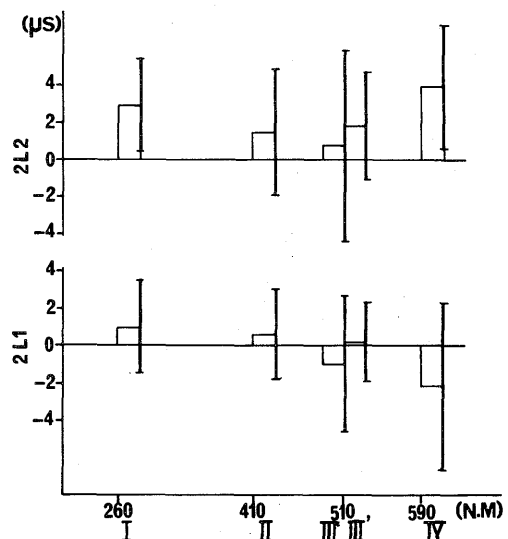


Fig. 4. Mean value and RMS of Loran-A reading's error.

Table 4. Deviation and RMS shown by μsec and nautical mile.

Section	2 L 1				2 L 2			
	μsec	RMS	NM	RMS	μsec	RMS	NM	RMS
I	0.889	2.495	0.123	0.330	2.904	2.532	0.965	0.774
II	0.615	2.457	0.122	0.610	1.557	3.522	0.395	0.843
III	-1.070	3.732	-0.354	1.290	0.786	5.151	0.167	1.092
IV	-2.226	4.446	-0.902	1.821	3.895	3.407	0.848	0.737
III'	0.189	2.195	0.058	0.767	1.830	2.903	0.398	0.615

RMS についても、両レートとも $\pm 2 \sim 5 \mu\text{sec}$ ではあるが、 $d\mu$ と同様な傾向となっている。

LOP の傾斜は 2 L 1 では全海域ではほぼ NW~SE 方向であるが、2 L 2 は I, II では NNE~SSW, III, IV で N~S から NNW~SSE へと変化している。平均位置が I, II で北偏し、III, IV で南偏したことは上述の LOP の傾斜のほか III, IV における 2 L 1 の dw が 2 L 2 の約 2 倍になっていることにも起因している。

昼間の測定を行ったのは III 海域のみであるが、全海域の夜間の結果と比較して、平均位置誤差（定誤差）は大きい、 $d\mu$ の値は I のそれに近く、昼間測定値の安定度の高いことを示している。夜間には雑音強度の増大に伴い S/N 比が低下し、自動追尾式受信機ではあるが、時間差測定値にずれを生ずるものと考えられる。III 海域における 2 L 2 の $d\mu$ が特に大きいのは、当時

低気圧接近のため天候不良であったことも一因と考えられるが、2 L 1 では過大とは示えず断定は出来ない。

一般に船位精度は確率密度 k で表される。2 本の LOP による確率密度は、

$$K = \frac{0.0724}{\sigma_1 \times \sigma_2} \times \sin \theta$$

$$\text{但し } \sigma_i = 0.081 \times \delta t \times \text{cosec } \frac{\phi}{2}$$

（時間差の誤差による LOP i の偏位量の中央誤差）

δt : 時間差測定の誤差 (μsec)

ϕ : 観測点より両局を望む夾角

θ : 2 本の LOP の交角

σ_1 : LOP 1 の σ_i

σ_2 : LOP 2 の σ_i

である(7)。

上式により Table 4 の値を用いて求めたものを $K 1$ として Table 5, Fig. 5 に示す。一般にロラン A 地表面波の測定時間差の誤差 δt は $1.5 \mu\text{sec}$ とされているので(8)、それにより求めたものを $K 2$ とした。 $K 2$ は海域が I から IV へ移るにつれて次第に減少し、精度が低下することを示しているが、 $K 1$ は III から急減している。しかし昼間では $K 2$ に近い値であった。

天測による LOP の K 値は偏位の中央誤差を $0.5'$ 、LOP の交角が同じであるとすれば、 $K = 0.1448$ となる。従って II 海域、すなわち主局からの距離が、夜間における地表面波測定の限界距離とされる 450 浬以内では天測位置よりも高精度の位置が得られる。しかしながら、比較基準としての NNSS の位置に、わずかながら誤差が含まれていることに留意しなければならない。

要 約

測定海域内における、NNSS の位置を基準としたロラン A (レート 2 L 1, 2 L 2) の夜間の平均偏位量は $1.0'$ 以下であるが、主局からの距離により RMS は $\pm 0.5'$

Table 5. Probable error and probability density.

Section	Dev. (NM)		Probability density	
	2 L 1	2 L 2	K 1	K 2
I	0.2239	0.5344	0.4767	0.6089
II	0.3925	0.5626	0.2108	0.3688
III	0.8429	0.7512	0.0672	0.2612
IV	1.2730	0.5194	0.0718	0.1727
III'	0.4957	0.4234	0.2028	0.2612

K 1: by measured error

K 2: by nominal error ($1.5 \mu\text{sec}$)

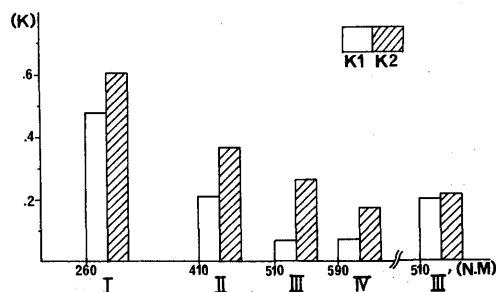


Fig. 5. Distance from the master station to each section and probability density.

～±1.8'となる。また測定時間差の誤差はRMSで±2.5～5.0μsecであった。位置の精度は、一般に云われているものより低い、主局より450海里(昼間では550海里以内)の海域では天測による位置の精度にまさる。

終りに、本研究にあたり測定の便を与えていただき、御協力いただいた鶴洋丸船長阿部茂夫教授以下乗組員各位、および練習生諸君に深甚の謝意を表します。

文 献

- (1) 木村小一 (1977). 衛星航法, 海文堂, 東京, 89～109.
- (2) 木村小一 (1970). 日航海誌, 44, 81～90.
- (3) 西野朝生, 木村小一(1972). 日航海論文集, 47, 35～43.
- (4) 上之清尚, 並波 清(1975). 航海, 45, 14～19.
- (5) 木村小一 (1971). 日航海誌, 46, 1～8.
- (6) 井潤健二 (1977). 航海, 53, 31～36.
- (7) 電波航法研究会(1977). 双曲線航法, 海文堂, 東京, 51～54.
- (8) 平岩 節 (1971). 船位論, 成山堂, 東京, 144～145.

(1) 木村小一 (1977). 衛星航法, 海文堂, 東京,